

2007 P 76434



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 30 309 A 1**

⑤① Int. Cl.7:  
F 02 D 41/38

②① Aktenzeichen: 199 30 309.6  
②② Anmeldetag: 1. 7. 1999  
④③ Offenlegungstag: 11. 1. 2001

DE 199 30 309 A 1

⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:  
Lixl, Heinz, 93055 Regensburg, DE; Pirkel, Richard,  
93053 Regensburg, DE

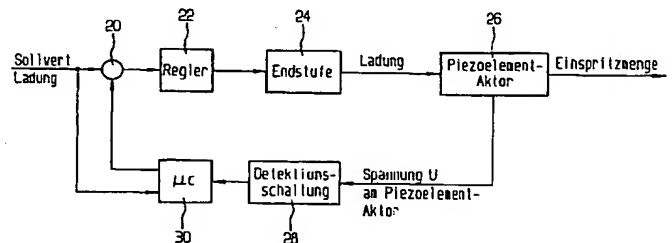
⑤⑤ Entgegenhaltungen:  
DE 196 44 521 A1  
DE 196 36 088 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Regelung der Einspritzmenge bei einem Kraftstoffeinspritzventil mit Piezoelement-Aktor

⑤⑦ Es erfolgt eine Regelung der Einspritzmenge bei einem Krafteinspritzventil mit einem Piezoelement-Aktor (26) durch das Erfassen der Spannung (U) am Piezoelement-Aktor (26) nach dessen anfänglicher Aufladung, das Feststellen des Einspritzbeginns und der Nadelöffnungszeit des Einspritzventils aus dem zeitlichen Verlauf der Spannung (U) am Piezoelement-Aktor und das Ermitteln der tatsächlichen Einspritzmenge aus dem Einspritzbeginn, der Nadelöffnungszeit und der Ansteuerdauer.



DE 199 30 309 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Regelung der Einspritzmenge bei einem Kraftstoffeinspritzventil mit Piezoelement-Aktor gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. des Patentanspruchs 5.

Für die Kraftstoffversorgung von Verbrennungsmotoren werden zunehmend Speichereinspritzsysteme verwendet, bei denen mit sehr hohen Einspritzdrücken gearbeitet wird. Solche Einspritzsysteme sind als Common-Rail-Systeme (für Dieselmotoren) und HPDI-Einspritzsysteme (für Ottomotoren) bekannt. Diese Einspritzsysteme zeichnen sich dadurch aus, daß der Kraftstoff mit einer Hochdruckpumpe in einen allen Zylindern des Motors gemeinsamen Druckspeicher gefördert wird, von dem aus die Einspritzventile an den einzelnen Zylindern versorgt werden. Die Einspritzventile werden oft auch Injektoren genannt. Das Öffnen und Schließen der Einspritzventile wird dann elektrisch gesteuert, im vorliegenden Fall unter Zuhilfenahme von Piezoelementen als Aktoren.

Bei diesen Einspritzventilen oder Injektoren ist in der Regel zwischen den Düsenkörper mit der Düsenadel, die die Einspritzlöcher im Einspritzventil öffnet und schließt, und den piezoelektrischen Aktor ein Steuerventil geschaltet. Das Steuerventil dient dazu, hydraulisch das Öffnen und Schließen des eigentlichen Kraftstoffeinspritzventils zu bewirken, das heißt insbesondere den Beginn und das Ende des Einspritzvorganges zeitlich exakt festzulegen. Das Einspritzventil soll z. B. kontrolliert öffnen und am Ende des Einspritzvorganges schnell schließen. Auch soll die Einspritzung kleinster Kraftstoffmengen zur Voreinspritzung (Pilot-einspritzung) vor der eigentlichen Einspritzung möglich sein, mit der sich der Verbrennungsprozeß optimieren läßt.

Die unvermeidlichen Fertigungstoleranzen an den einzelnen Bauteilen der Injektoren und die ebenso unvermeidlichen Streuungen in den elektrischen Eigenschaften der Ansteuerschaltung für den piezoelektrischen Aktor haben jedoch einen merklichen Einfluß auf die Einspritzmenge der Injektoren. Diese Toleranzen und Streuungen führen dazu, daß die Einspritzmenge unerwünschterweise von Injektor zu Injektor unterschiedlich ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, das eingangs genannte Verfahren und die eingangs genannte Vorrichtung so auszugestalten, daß die Streuung der Injektoren im Einspritzverhalten verringert wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß hinsichtlich des Verfahrens mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Maßnahmen und hinsichtlich der Vorrichtung mit den im Patentanspruch 5 angegebenen Maßnahmen gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angeführt.

Die obige Aufgabe wird demnach erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß bei einem Kraftstoffeinspritzventil mit einem Piezoelement-Aktor die Spannung am Piezoelement-Aktor nach dessen anfänglicher Aufladung erfaßt wird, der Einspritzbeginn und die Nadelöffnungszeit des Einspritzventils aus dem zeitlichen Verlauf der Spannung am Piezoelement-Aktor festgestellt und die tatsächliche Einspritzmenge aus dem Einspritzbeginn, der Nadelöffnungszeit und der Ansteuerdauer ermittelt wird. Gegebenenfalls wird die anfängliche Aufladung des Piezoelement-Aktors und/oder die Ansteuerdauer zur Nachführung der Einspritzmenge auf einen vorgegebenen Wert geändert.

Es erfolgt somit erfindungsgemäß eine genaue Erfassung des tatsächlichen Zeitpunkts für den Einspritzbeginn und eine Erfassung der tatsächlichen Nadelöffnungszeit der Düsenadel des Injektors. Der Einspritzbeginn sowie die Nadelöffnungszeit werden dabei aus dem Verlauf der Span-

nung am Piezoelement-Aktor bestimmt. Durch eine Änderung der Nadelöffnungszeit und/oder der Ansteuerdauer über eine Regelung der Ladung des Piezo-Aktors kann während des Motorbetriebs Einfluß auf die verschiedenen Öffnungszeiten und damit auf die eingespritzte Menge genommen werden.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Teil-Schnittansicht eines Injektors zur Kraftstoffeinspritzung;

Fig. 2 den zeitlichen Verlauf der Spannung an einem Piezoelement-Aktor und den damit korrelierten Düsenadelhub bei dem Injektor der Fig. 1; und

Fig. 3 das elektrische Blockschaltbild eines Regelkreises für die Regelung der Einspritzmenge.

Die Fig. 1 der Zeichnung zeigt im Schnitt einen Teil eines Injektors zur Kraftstoffeinspritzung in einen Verbrennungsmotor bei einem Common-Rail-System. Anhand der Fig. 1 wird auch die Arbeitsweise dieses Injektors oder Einspritzventils erläutert.

Bei einem Common-Rail-System wird der Kraftstoff mit Systemdruck von einem Hochdruckspeicher (nicht gezeigt) über eine Hochdruckbohrung 1 und eine Zulaufbohrung 2 mit einer Zulaufdrossel 3 zu einer Steuerkammer 4 im Injektorkörper 5 geführt. In der Steuerkammer 4 wirkt der dort herrschende Druck auf das hintere Ende eines beweglichen Düsenkörpers 6 mit einer Düsenadel am vorderen Ende, die Einspritzlöcher (nicht gezeigt) im Injektorkörper 5 öffnet und schließt, die zum Brennraum des Verbrennungsmotors führen. Ebenfalls über die Hochdruckbohrung 1 mit dem Hochdruckspeicher verbunden ist eine Düsenkammer, die im Injektorkörper 5 am vorderen Ende des Düsenkörpers 6 ausgebildet ist. Wenn sowohl in der Steuerkammer 4 als auch in der Düsenkammer der volle Systemdruck anliegt, wird der Düsenkörper 6 aufgrund der größeren Wirkfläche in der Steuerkammer 4 nach unten gedrückt, und die Einspritzlöcher sind geschlossen.

Die Steuerkammer 4 steht hydraulisch mit einem in den Injektorkörper 5 integrierten Steuerventil 7 in Verbindung. Vom Steuerventil 7 geht ein druckloser Kraftstoff-Rücklauf zum Kraftstofftank ab. Das Steuerventil 7 wird über einen Stößel 8 von einem piezoelektrischen Aktor (in der Fig. 1 nicht gezeigt) angesteuert und betätigt. Das Steuerventil 7 steuert den Druck, der in der Steuerkammer 4 auf den beweglichen Düsenkörper 6 ausgeübt wird.

Bei der in der Fig. 1 gezeigten Ausführungsform des Injektors ist das Steuerventil 7 unmittelbar angrenzend an die Steuerkammer 4 angeordnet. Dazu ist im Injektorkörper 5 eine Aussparung 10 ausgebildet, die sich gegenüber dem Düsenkörper 6 bzw. der für die Aufnahme des Düsenkörpers 6 bestimmten Bohrung in Längsrichtung des Injektorkörpers 5 von der Steuerkammer 4 weg erstreckt. In die Aussparung 10 ist der Ventilkörper des Steuerventils 7 eingesetzt.

Die Aussparung 10 ist zur Steuerkammer 4 hin offen, so daß das in die Aussparung 10 eingesetzte Steuerventil 7 mit seiner Bodenfläche in die Steuerkammer 4 ragt bzw. mit dieser Fläche eine Seite der Steuerkammer 4 bildet.

Auf der von der Steuerkammer 4 abgewandten Seite der Aussparung 10 ist eine Bohrung 12 vorgesehen, durch die der Stößel 8 des piezoelektrischen Aktors verläuft. Die Bohrung 12 bildet auch einen Teil des drucklosen Rücklaufs, durch den der Kraftstoff aus der Steuerkammer 4 bei geöffnetem Steuerventil 7 in den Kraftstofftank zurückfließt.

Der Übergang von der Bohrung 12 in die Aussparung 10 ist als Ventilsitz für das Steuerventil 7 ausgebildet, an dem das Steuerventil 7 abdichtend zur Anlage kommt. In den Ventilkörper des Steuerventils 7 ist eine Ablaufbohrung 14 mit einer Ablaufdrossel 15 integriert.

Im Ausgangszustand, bei geschlossenem Einspritzventil, wird das Steuerventil 7 durch den Druck in der Steuerkammer 4, der praktisch dem Systemdruck entspricht, gegen den Ventilsitz gedrückt, so daß zwischen der Steuerkammer 4 und der Bohrung 12 keine Verbindung besteht.

Der Systemdruck liegt in der Steuerkammer 4 auch am Düsenkörper 6 an, so daß die Düsennadel am vorderen Ende des Düsenkörpers 6 in ihren Sitz gedrückt wird und die Verbindung zu den Einspritzlöchern unterbrochen ist. Folglich wird kein Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt.

Bei einer elektrischen Ansteuerung des Piezoelement-Aktors wird über den Stößel 8 eine Kraft auf das Steuerventil 7 ausgeübt, die das Steuerventil 7 von seinem Ventilsitz abhebt. Damit wird zwischen der Steuerkammer 4 und der Bohrung 12, die Teil des drucklosen Rücklaufs zum Kraftstofftank ist, eine Verbindung hergestellt, und es strömt Kraftstoff aus der Hochdruckbohrung 1 durch die Zulaufdrossel 3, die Steuerkammer 4, die Ablaufbohrung 14 und die Ablaufdrossel 15 in die Bohrung 12. Der Durchfluß durch die Zulaufdrossel 3 ist geringer als der durch die Ablaufdrossel 15, so daß der Druck in der Steuerkammer 4 abnimmt. Der Düsenkörper 6 wird somit entlastet, und der in der Düsenkammer am vorderen Ende des Düsenkörpers 6 anstehende Systemdruck hebt die Düsennadel von ihrem Sitz ab und gibt die Verbindung zu den Einspritzlöchern frei. Damit beginnt der Einspritzvorgang.

Nach Beendigung der Ansteuerung des Aktors wird der Ventilkörper des Steuerventils 7 durch den Druck in der Steuerkammer 4 wieder in seinen Ventilsitz gedrückt. Damit wird die Verbindung zur Bohrung 12 und zum drucklosen Rücklauf unterbrochen, so daß sich in der Steuerkammer 4 wieder der volle Druck aufbauen kann. Der Druck in der Steuerkammer 4 führt am Düsenkörper 6 zu einer Kraft in Richtung zum Sitz der Düsennadel, die die Düsennadel wieder in ihren Sitz drückt und den Einspritzvorgang beendet.

Die Fig. 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung  $U(t)$  an den Piezoelementen des Aktors und in Korrelation dazu den zeitlichen Verlauf des Nadelhubes  $h(t)$  der Düsennadel im Injektor.

Der Piezoelement-Aktor wird durch einen zum Zeitpunkt  $t_1$  beginnenden und zum Zeitpunkt  $t_2$  endenden kurzen Spannungsstoß aufgeladen. Dann wird die externe Spannungszufuhr vom Piezoelement-Aktor abgekoppelt.

Es läßt sich nun die am Piezoelement-Aktor herrschende Spannung messen. Die Spannung am Piezoelement-Aktor spiegelt den jeweiligen Druck in der Steuerkammer 4 wieder, der über das Steuerventil 7 und den Stößel 8 auf den Piezoelement-Aktor wirkt.

Mit einer kurzen zeitlichen Verzögerung beginnt sich nach der Aufladung des Piezoelement-Aktors zum Zeitpunkt  $t_3$  der Düsenkörper 6 mit der Düsennadel am vorderen Ende zu bewegen. Während der Nadelöffnungszeit vom Zeitpunkt  $t_3$  bis zum Zeitpunkt  $t_4$  nimmt der Nadelhub  $h$  im wesentlichen kontinuierlich zu, bis er zum Zeitpunkt  $t_4$  seinen Maximalwert erreicht hat und die Einspritzlöcher vollständig offen sind.

Während der Nadelöffnungszeit von  $t_3$  bis  $t_4$  nimmt die Spannung am Piezoelement-Aktor einen bestimmten Wert  $U_a$  an, der wie erwähnt durch den Druck in der Steuerkammer 4 bestimmt ist. Mit dem Erreichen des Maximalwertes von  $h$  zum Zeitpunkt  $t_4$  nimmt der Druck in der Steuerkammer 4 etwas ab, da sich der Düsenkörper 6 nicht mehr in die Steuerkammer 4 hinein bewegt, und die Spannung am Piezoelement-Aktor fällt entsprechend auf einen Wert  $U_b$  mit  $U_b < U_a$  ab.

Das Ende der Ansteuerung des Injektors wird dadurch eingeleitet, daß zum Zeitpunkt  $t_5$  der Piezoelement-Aktor kontrolliert entladen wird. Die Spannung  $U$  am Aktor fällt

dann schnell auf Null ab, und der Aktor wirkt nicht mehr über den Stößel 8 auf das Steuerventil 7 ein. Die Zeitspanne zwischen  $t_1$  und  $t_5$  ist die Ansteuerdauer.

Mit einer gewissen Verzögerung beginnt sich daraufhin die Einspritzdüse wieder zu schließen. So nimmt ab dem Zeitpunkt  $t_6$  der Nadelhub  $h$  wieder ab, bis er bei  $t_7$  wieder Null ist. Zum Zeitpunkt  $t_7$  ist daher der Einspritzvorgang beendet. Die Zeitspanne von  $t_3$  bis  $t_7$ , stellt die Gesamt-Einspritzdauer dar. Die Einspritzmenge wird dabei nicht nur von der Länge der Zeitspanne zwischen  $t_3$  und  $t_7$ , bestimmt, sondern zum Beispiel auch von der Geschwindigkeit, mit der sich das Einspritzventil öffnet, das heißt von der Nadelöffnungszeit zwischen  $t_3$  und  $t_4$ . Diese wiederum läßt sich durch die anfängliche Aufladung des Piezoelement-Aktors bestimmen und beeinflussen. Durch eine Änderung der Nadelöffnungszeit und eine Änderung der Ansteuerdauer, das heißt eine Festlegung des Zeitpunktes  $t_5$  relativ zu  $t_1$  oder  $t_3$ , kann somit Einfluß auf die eingespritzte Kraftstoffmenge genommen werden.

Die Fig. 3 zeigt ein Prinzipschaltbild für einen Regelkreis zur Regelung der von einem Injektor eingespritzten Einspritzmenge.

Der theoretisch einer gewünschten Einspritzmenge entsprechende Regelungs-Sollwert wird über einen Addierer 20 an den Eingang eines Regler 22 geführt. Das Ausgangssignal des Reglers 22 wird einer Endstufe 24 eingegeben, die dem Piezoelement-Aktor 26 eines Injektors eine entsprechende Ladung zuführt, woraufhin der Injektor eine bestimmte Einspritzmenge abgibt.

Nach der anfänglichen Aufladung des Piezoelement-Aktors 26 wird dieser von der Spannungszufuhr durch die Endstufe 24 abgekoppelt. Die in der Folge am Piezoelement-Aktor 26 herrschende Spannung wird in einer Detektionsschaltung 28 erfaßt und einer Steuerschaltung 30 in der Form eines Mikroprozessors  $\mu C$  zugeleitet, die auch das Sollwertsignal vom Eingang des Regelkreises zugeführt erhält.

Aus dem beim Einspritzvorgang am Piezoelement-Aktor 26 von der Detektionsschaltung 28 abgenommenen Spannungsverlauf, der im wesentlichen die in der Fig. 2 gezeigte Form hat, leitet die Steuerschaltung 30 den Einspritzbeginn und die Nadelöffnungszeit ab und nimmt erforderlichenfalls durch eine Änderung des Vorgabewertes am Addierer 20 Einfluß auf die Nadelöffnungszeit und die Ansteuerdauer. Die Steuerschaltung 30 ermittelt somit durch die Auswertung des zeitlichen Verlaufs und der Höhe des Spannungssignals vom Piezoelement-Aktor 26, das heißt insbesondere durch die Feststellung der Zeitpunkte  $t_3$  und  $t_4$  anhand des Spannungsverlaufs am Piezoelement-Aktor 26 die tatsächliche Einspritzmenge und sorgt bei einer Abweichung vom vorgegebenen Wert für eine entsprechende Nachregelung durch eine Änderung der Aufladung und/oder eine Änderung der Ansteuerdauer.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung der Einspritzmenge bei einem Kraftstoffeinspritzventil mit einer Steuerkammer (4), die mit einem Hochdruckspeicher und mit einem Steuerventil (7) in Verbindung steht, wobei der in der Steuerkammer (4) herrschende Druck auf einen beweglichen Düsenkörper (6) mit einer Düsennadel zum Öffnen und Schließen von Einspritzlöchern wirkt und wobei zum Öffnen des Einspritzventils das Steuerventil (7) von einem Piezoelement-Aktor betätigt wird, gekennzeichnet durch das Erfassen der Spannung ( $U$ ) am Piezoelement-Aktor (26) nach dessen anfänglicher Aufladung,

das Feststellen des Einspritzbeginns und der Nadelöffnungszeit des Einspritzventils aus dem zeitlichen Verlauf der Spannung (U) am Piezoelement-Aktor (26), das Ermitteln der tatsächlichen Einspritzmenge aus dem Einspritzbeginn, der Nadelöffnungszeit und der 5 Ansteuerdauer, und gegebenenfalls

eine Änderung der anfänglichen Aufladung des Piezoelement-Aktors und/oder der Ansteuerdauer zur Nachführung der Einspritzmenge auf einen vorgegebenen Wert. 10

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Nachführung der Einspritzmenge auf den vorgegebenen Wert nur die anfängliche Aufladung des Piezoelement-Aktors (26) verändert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Nachführung der Einspritzmenge auf den vorgegebenen Wert nur die Ansteuerdauer des Piezoelement-Aktors (26) verändert wird. 15

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Nachführung der Einspritzmenge auf den vorgegebenen Wert sowohl die anfängliche Aufladung als auch die Ansteuerdauer des Piezoelement-Aktors (26) verändert wird. 20

5. Vorrichtung zur Regelung der Einspritzmenge bei einem Kraftstoffeinspritzventil mit einer Steuerkammer (4), die mit einem Hochdruckspeicher und mit einem Steuerventil (7) in Verbindung steht, wobei der in der Steuerkammer (4) herrschende Druck auf einen beweglichen Düsenkörper (6) mit einer Düsenadel zum Öffnen und Schließen von Einspritzlöchern wirkt und wobei zum Öffnen des Einspritzventils das Steuerventil (7) von einem Piezoelement-Aktor (26) betätigt wird, der über einen Regler (22) und eine Endstufe (24) angesteuert wird, gekennzeichnet durch eine Detektionsschaltung (28) zum Erfassen der Spannung (U) am Piezoelement-Aktor (26) nach dessen anfänglicher Aufladung, 25

einer Steuerschaltung (30) zum Feststellen des Einspritzbeginns und der Nadelöffnungszeit des Einspritzventils aus dem zeitlichen Verlauf der Spannung (U) am Piezoelement-Aktor (26), dem Ermitteln der tatsächlichen Einspritzmenge aus dem Einspritzbeginn, der Nadelöffnungszeit und der Ansteuerdauer und gegebenenfalls zur Änderung der anfänglichen Aufladung des Piezoelement-Aktors und/oder der Ansteuerdauer zur Nachführung der Einspritzmenge auf einen vorgegebenen Wert. 30 35 40 45

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschaltung (30) ein Mikroprozessor ist. 50

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

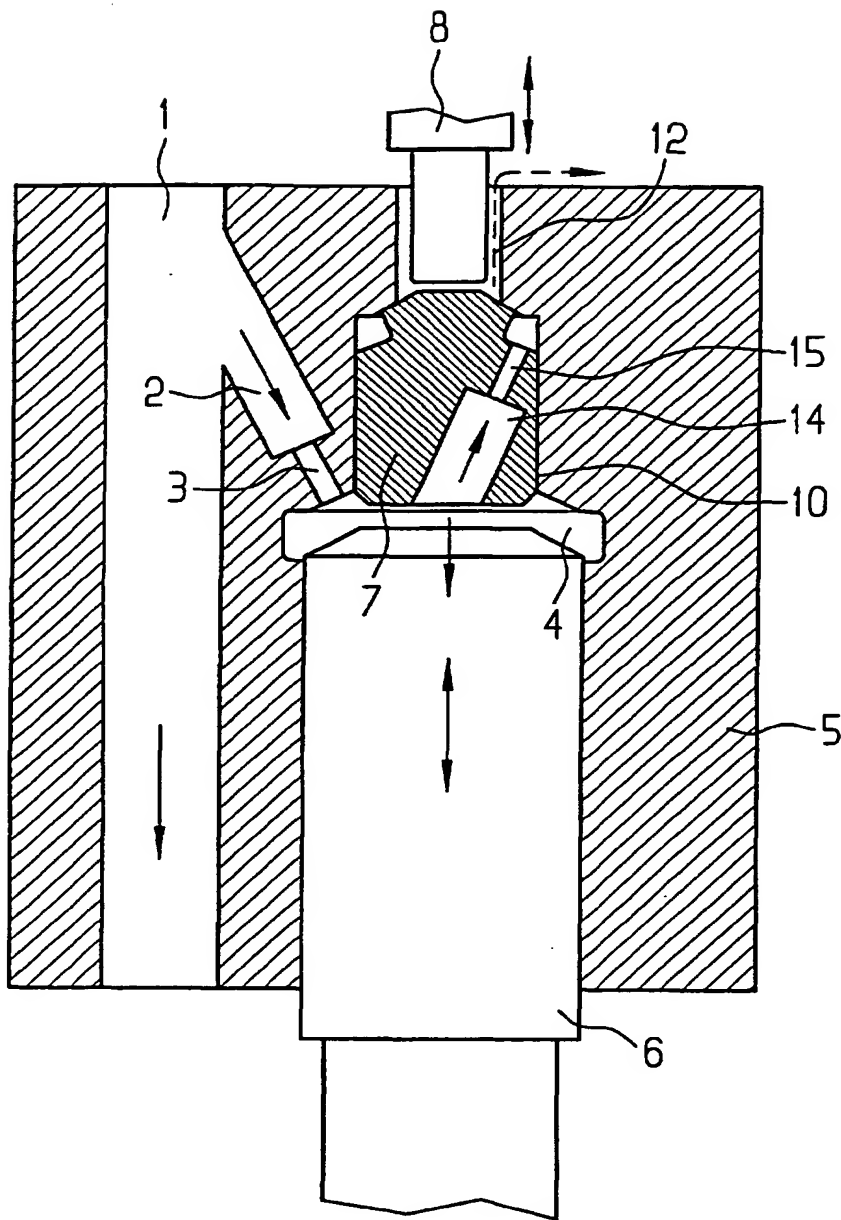
55

60

65

- Leerseite -

FIG 1



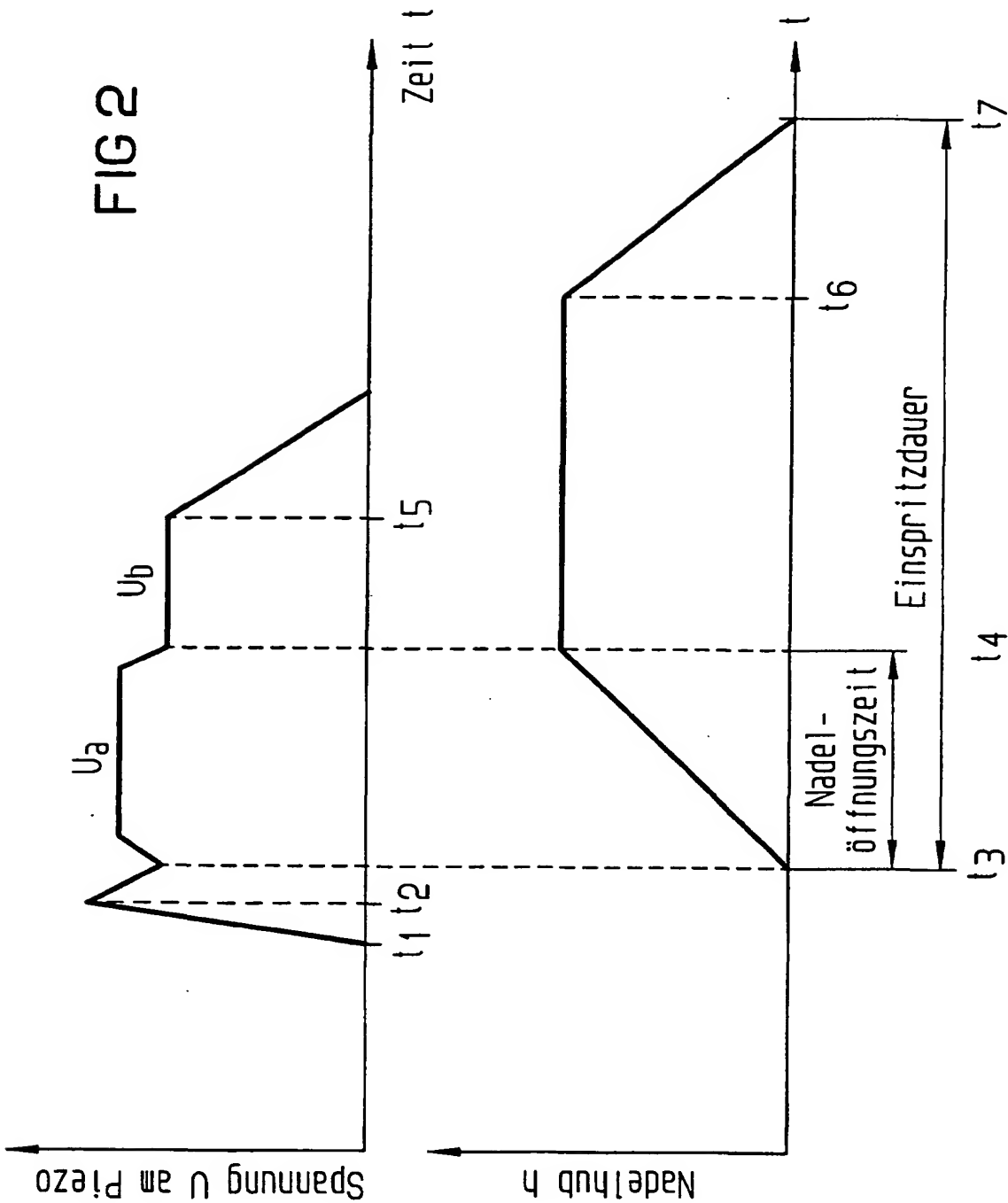


FIG 3

